2P

УДК 621.39:681.5

Н.Б. Репнікова, К.С. Дорошенко, О.О. Жуковський
Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ

Метод моделювання процесу маршрутизації в IP-мережі за допомогою мови програмування MatLab

У статті пропонується метод моделювання процесу маршрутизації в телекомунікаційній мережі на базі методу динамічного програмування, досліджено застосування методу при моделюванні маршрутизації за одним критерієм оптимальності (пропускна здатність каналу) та за двома критеріями (пропускною здатністю та ступенем надійності).

Однією з найважливіших задач управління, які розв’язуються в телекомунікаційних мережах, є задача маршрутизації – вибору шляху для інформаційних пакетів, які надходять у вузол мережі. Маршрутизатор має обрати оптимальний шлях для кожного вхідного пакету інформації, причому оптимальність шляху може визначатися як одним критерієм, так і кількома. Найбільш використовуваним критерієм оптимальності є так звана «ціна» маршруту, яка є величиною, обернено пропорційною до пропускної здатності каналу зв’язку. Обернено пропорційний зв’язок між пропускною здатністю та ціною маршруту зводить задачу вибору оптимального маршруту для інформаційного пакету до задачі пошуку маршруту мінімальної ціни.

Ціна маршруту між двома сусідніми вузлами мережі обчислюється як округлене до цілого числа відношення деякого великого числа (наприклад, 10^8) до пропускної здатності каналу, вираженої у бітах за секунду. Число, відносно якого розраховується ціна маршруту, обирається таким чином, щоб ціна каналу з найбільшою пропускною здатністю дорівнювала 1.

Знаходження оптимального маршруту може виконуватись за допомогою різних алгоритмів. Так, наприклад, широко розповсюджений протокол OSPF використовує алгоритм Дійкстри для знаходження оптимального шляху. Нижче пропонується розв’язання задачі маршрутизації за допомогою методу динамічного програмування [1].

Розглянемо приклад телекомунікаційної мережі, яка складається з семи вузлів (маршрутизаторів), які з’єднані між собою каналами різної пропускної здатності (рис. 1).

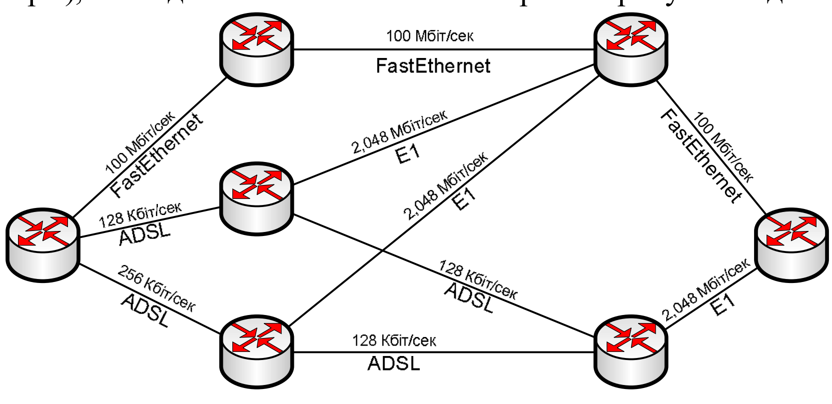


Рисунок 1 – Схема мережі

Після перетворення величин пропускних здатностей у ціни каналів схема набуде іншого вигляду (рис. 2).

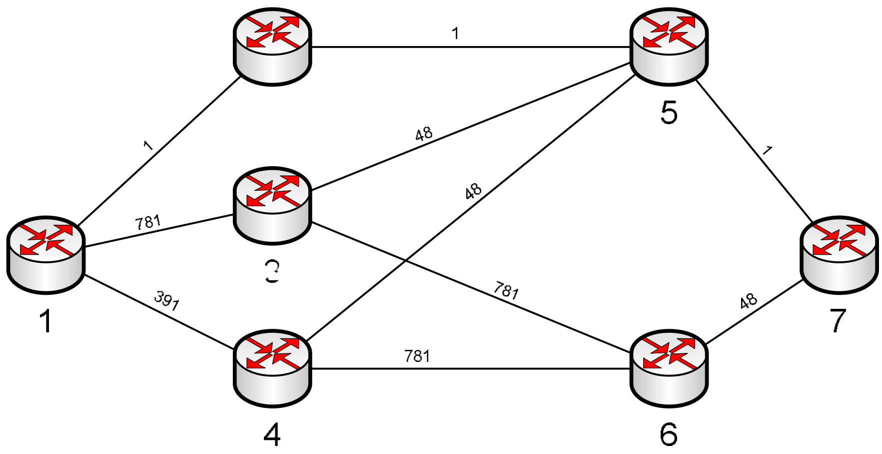


Рисунок 2 – Схема мережі, представлена у вигляді графа

Для розв’язання задачі маршрутизації інформаційного пакету, наприклад, від вузла 1 до вузла 7, потрібно описати отриманий граф матрицею сполучень:

$$C = \begin{pmatrix} 999 & 1 & 781 & 391 & 999 & 999 & 999 \\ 1 & 999 & 999 & 999 & 1 & 999 & 999 \\ 781 & 999 & 999 & 999 & 48 & 781 & 999 \\ 391 & 999 & 999 & 999 & 48 & 781 & 999 \\ 999 & 1 & 48 & 48 & 999 & 999 & 1 \\ 999 & 999 & 781 & 781 & 999 & 999 & 48 \\ 999 & 999 & 999 & 999 & 1 & 48 & 999 \end{pmatrix},$$

де числами 999 позначені неіснуючі сполучення у графі.

Метод моделювання процесу маршрутизації в телекомунікаційній мережі на базі методу динамічного програмування реалізовано у вигляді програми середовища MATLAB. Подавши матрицю C на вхід розробленої програми, отримаємо

```
result(1) =

  CurrentVertex: 1
  NextVertex: 2
  Cost: 1

result(2) =

  CurrentVertex: 2
  NextVertex: 5
  Cost: 1

result(3) =

  CurrentVertex: 5
  NextVertex: 7
  Cost: 1
```

Отриманий результат буде занесений в таблицю маршрутизації на вузлі 1 і буде застосовуватись для всіх пакетів, адресованих у вузол 7. Маршрутизатор виконає

аналогічні розрахунки для всіх вузлів призначення, які наявні в його базі топології мережі, побудувавши таким чином таблицю маршрутизації.

Для перевірки результату, отриманого за допомогою розробленої програми, було використано пакет OPNet, призначений для моделювання телекомунікаційних мереж. Модель мережі в OPNet наведена на рис. 3.

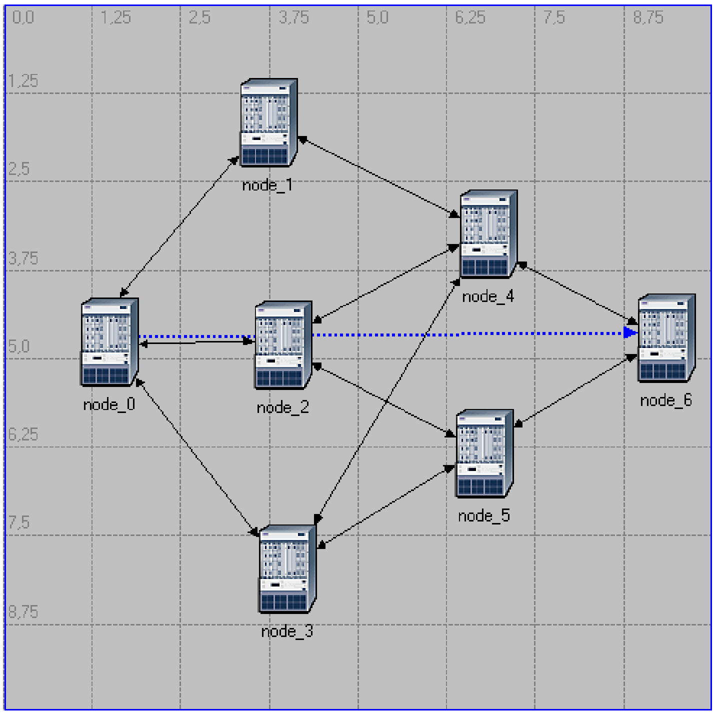


Рисунок 3 – Модель мережі в пакеті OPNet

Для моделювання вузлів мережі були використані узагальнені блоки ethernet4_ slip8_gtwy, які можуть моделювати роботу довільного IP-маршрутизатора. Зв’язки між вузлами мережі змодельовані за допомогою каналів PPP (Point-to-Point Protocol). Для задання ціни каналу, яка враховується при моделюванні процесу прийняття рішення про маршрутизацію пакетів, використовується атрибут Reference Bandwidth.

На відміну від розробленої програми, пакет OPNet використовує число 10^{10} як основу для розрахунку цін каналів. Ця відмінність не повинна впливати на результат моделювання, оскільки співвідношення між цінами каналів у заданій моделі не зміняться.

Для знаходження оптимального (у сенсі швидкості передачі даних) шляху між вузлами «node_0» та «node_6», які відповідають вершинам 1 та 7 графа, зображеного на рис. 2, було задано напрям руху трафіка (traffic demand) від вузла «node_0» до вузла «node_6».

Після запуску моделювання було отримано наступний результат:

Path #1

node_0 --> node_6	Campus Network.node_0
Campus Network.node_0 <-> node_1	Campus Network.node_1
Campus Network.node_1 <-> node_4	Campus Network.node_4
Campus Network.node_4 <-> node_6	Campus Network.node_6

Для пари вузлів «node_0» та «node_6» було обрано шлях node_0 -> node_1 -> node_4 -> node_6, який збігається зі шляхом, отриманим за допомогою розробленої програми.

В ситуації, коли маршрутизатор працює одночасно з кількома різними протоколами маршрутизації, для вибору маршрутів використовується додатковий критерій оптимальності – так звана «адміністративна відстань» (administrative distance), яка характеризує ступінь надійності отриманого маршруту. Адміністративна відстань є числовим параметром, який може приймати значення від 0 до 255. Ці значення присвоюються різним протоколам маршрутизації, причому протоколи, від яких маршрути отримують найбільшої достовірності, мають менші значення адміністративної відстані. Значення 0, 1 та 255 мають окрему роль. Адміністративну відстань вважають рівною нулю для маршрутів, кінцева адреса яких належить інтерфейсу, який безпосередньо з'єднаний з даним вузлом мережі. Такі маршрути є найбільш надійними, оскільки маршрутизатор завжди має найбільш актуальну інформацію про працездатність каналів, які зв'язують його з іншими вузлами мережі. Адміністративною відстанню, яка дорівнює одиниці, позначаються статичні маршрути – тобто такі, які були введені адміністратором в таблицю маршрутизації вручну. Значення «255» використовується для маршрутів, походження яких невідоме. Такі маршрути взагалі не розглядаються маршрутизатором при виборі шляху для інформаційних пакетів, навіть якщо такий маршрут є єдиним відомим. Стандартні значення адміністративної відстані для деяких інших протоколів наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Адміністративні відстані протоколів

Назва протоколу	Значення відстані
Сумарний маршрут EIGRP	5
BGP, який працює поза рамками автономної системи	20
EIGRP, який працює в рамках автономної системи	90
IGRP	100
OSPF	110
IS-IS	115
RIP	120
EGP	140
ODR	160
EIGRP, який працює поза рамками автономної системи	170
BGP, який працює в рамках автономної системи	200

Причиною різниці в достовірності маршрутів є особливості організації різних протоколів маршрутизації, а не їх недоліки. Так, наприклад, маршрути, отримані за протоколом RIP (Routing Information Protocol), вважаються менш достовірними за отримані за протоколом OSPF тому, що протокол RIP обирає маршрути, використовуючи кількість вузлів на шляху як критерій оптимальності, не беручи до уваги пропускну здатність каналів між вузлами.

Адміністративна відстань протоколів не є жорстко заданим параметром, і адміністратор мережі може змінювати її, якщо потрібно надати перевагу маршрутам одного або кількох протоколів.

При побудові таблиці маршрутизації адміністративна відстань вважається більш важливим критерієм, ніж всі інші. Так, маршрутизатор відразу виключає з розгляду маршрути невідомого походження. Для подальшого аналізу та вибору оптимального маршруту застосовуються критерії, специфічні для використовуваного протоколу маршрутизації (наприклад, пропускна здатність каналів зв'язку).

Для того, щоб описана вище програма могла розв'язувати задачу маршрутизації з використанням двох критеріїв оптимальності, до формату вхідних даних та алгоритму основної процедури потрібно ввести деякі зміни.

Вхідними даними програми будуть дві матриці: матриця сполучень, яка міститиме інформацію про ціни каналів зв'язку між вузлами мережі, та матриця адміністративних відстаней, яка відображатиме інформацію про протоколи маршрутизації, що використовуються у мережі.

В алгоритм основної процедури програми потрібно додати урахування адміністративної відстані при обчисленні значення критерію оптимальності, та перевірку, яка дозволить виключати з розгляду маршрути, які мають адміністративну відстань, що дорівнює 255, тобто мають невідоме походження.

Для перевірки правильності роботи програми після внесених змін можна модифікувати схему мережі (рис. 4) таким чином, щоб зменшити вплив пропускної здатності каналів на вибір оптимального маршруту (рис. 5).

Після внесення змін у мережі з'явилися два шляхи, які відносно мало відрізняються за пропускною здатністю – один з них проходить через вузли 1 – 3 – 5 – 7, другий – через вузли 1 – 4 – 5 – 7. Для того, щоб перевірити вплив адміністративної відстані на вибір оптимального шляху, вважатимемо, що інформацію про канали між вузлами 1 – 3 та 3 – 5 було отримано за протоколом RIP, а про всі інші – за протоколом OSPF. Така зміна має привести до того, що канали 1 – 3 та 3 – 5, незважаючи на їх більшу пропускну здатність, матимуть в цілому більше значення критерію оптимальності, ніж канали 1 – 4 та 4 – 5.

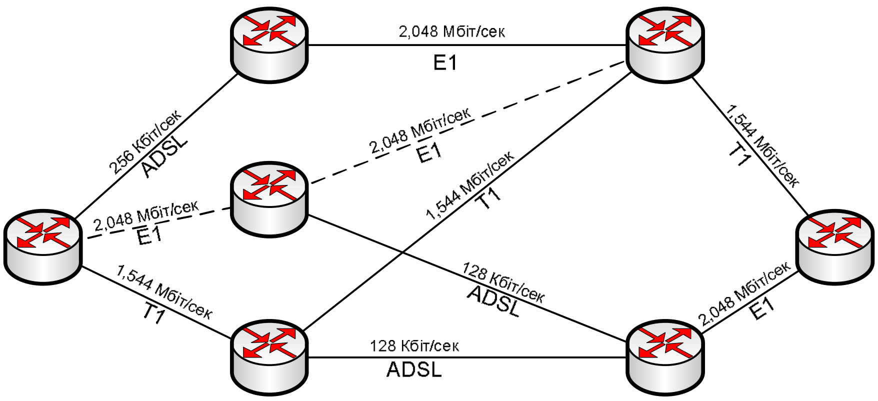


Рисунок 4 – Модифікована схема мережі

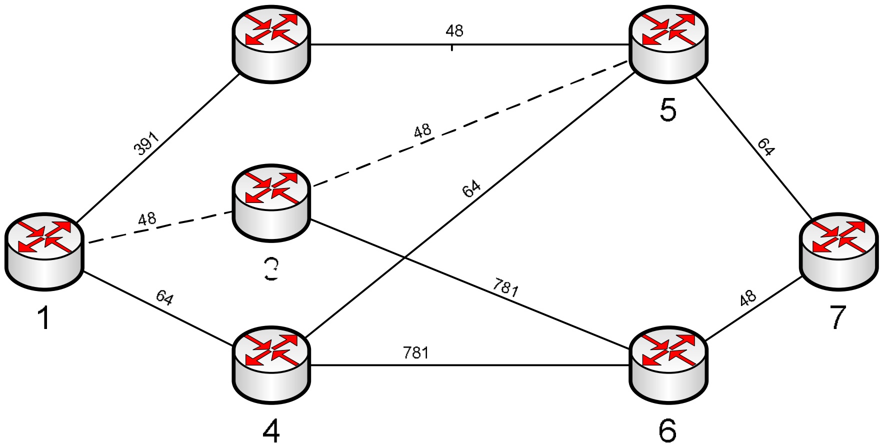


Рисунок 5 – Модифікована схема мережі після перетворення пропускних здатностей в ціни каналів

Як було вказано вище, вхідними даними програми будуть дві матриці – матриця сполучень С, що містить інформацію про ціни каналів, та матриця адміністративних відстаней D:

$$C = \begin{pmatrix} 999 & 391 & 48 & 64 & 999 & 999 & 999 \\ 381 & 999 & 999 & 999 & 48 & 999 & 999 \\ 48 & 999 & 999 & 999 & 48 & 781 & 999 \\ 64 & 999 & 999 & 999 & 64 & 781 & 999 \\ 999 & 48 & 48 & 64 & 999 & 999 & 64 \\ 999 & 999 & 781 & 781 & 999 & 999 & 48 \\ 999 & 999 & 999 & 999 & 64 & 48 & 999 \end{pmatrix}$$

$$D = \begin{pmatrix} 999 & 110 & 120 & 110 & 999 & 999 & 999 \\ 110 & 999 & 999 & 999 & 110 & 999 & 999 \\ 120 & 999 & 999 & 999 & 120 & 110 & 999 \\ 110 & 999 & 999 & 999 & 110 & 110 & 999 \\ 999 & 110 & 120 & 110 & 999 & 999 & 110 \\ 999 & 999 & 110 & 110 & 999 & 999 & 110 \\ 999 & 999 & 999 & 999 & 110 & 110 & 999 \end{pmatrix}$$

Результатом виконання програми буде наступний маршрут:

```
result(1) =
   CurrentVertex: 1
  NextVertex: 4
  Cost: 174
result(2) =
   CurrentVertex: 4
  NextVertex: 5
  Cost: 174
result(3) =
   CurrentVertex: 5
  NextVertex: 7
  Cost: 174
```

В результаті додання адміністративної відстані, як критерію оптимальності, шлях 1 – 3 – 5 – 7 перестав бути оптимальним, незважаючи на більшу пропускну здатність каналів, які до нього входять.

Таким чином, запропонований метод моделювання процесу маршрутизації на базі динамічного програмування дозволяє вирішувати двокритеріальну задачу (пропускна здатність та ступінь надійності) та обирати оптимальний шлях для кожного вхідного пакету інформації.

Література

1. Чураков Е.П. Оптимальные и адаптивные системы : учеб. пособие для вузов / Чураков Е.П. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.

Стаття надійшла до редакції 03.03.2009.